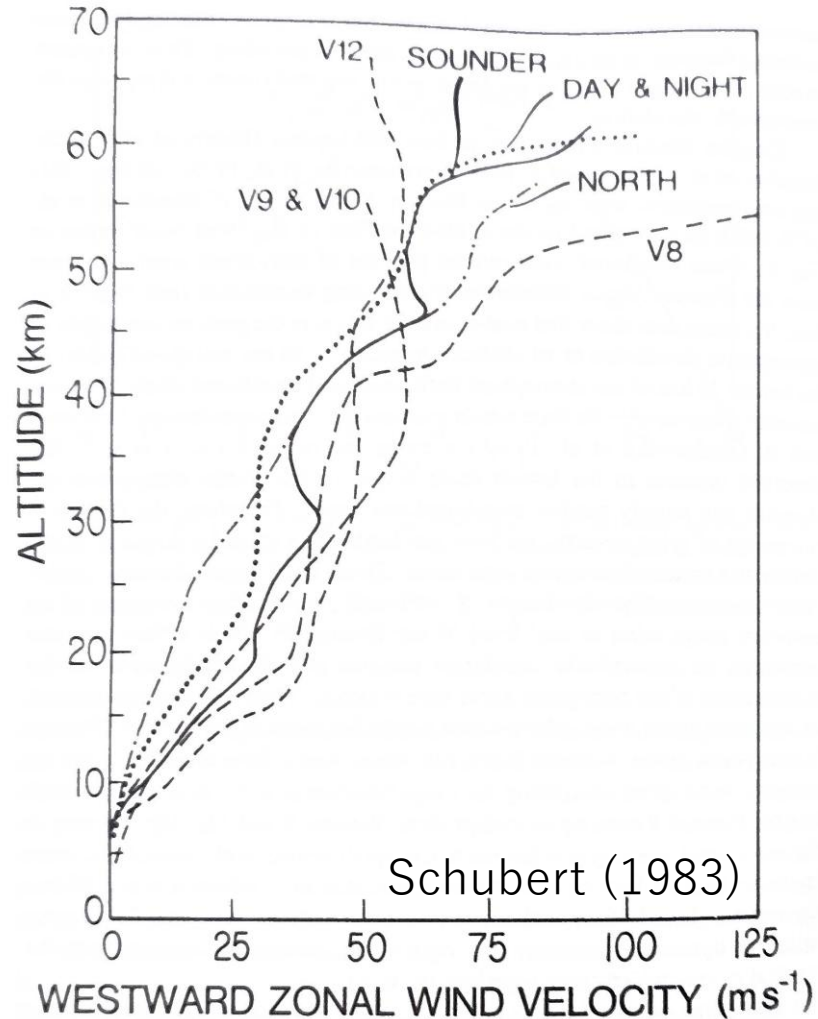


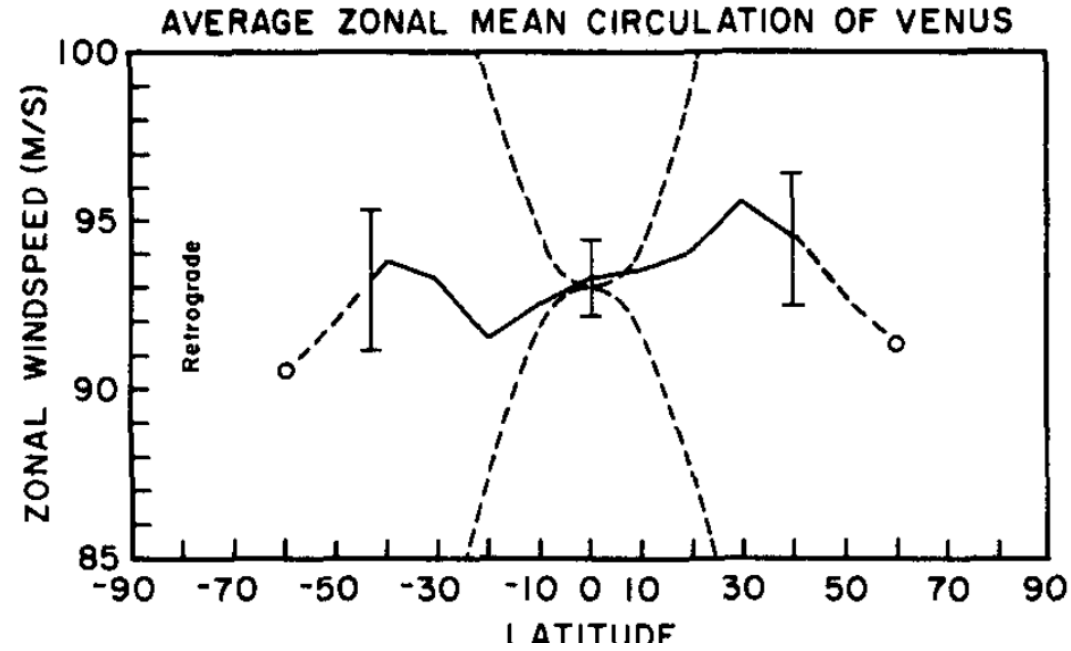
大気大循環モデルを用いた 金星大気大循環の 鉛直粘性依存性に 関する研究

理学研究科 惑星学専攻
流体地球教育研究分野
服部蒼紀

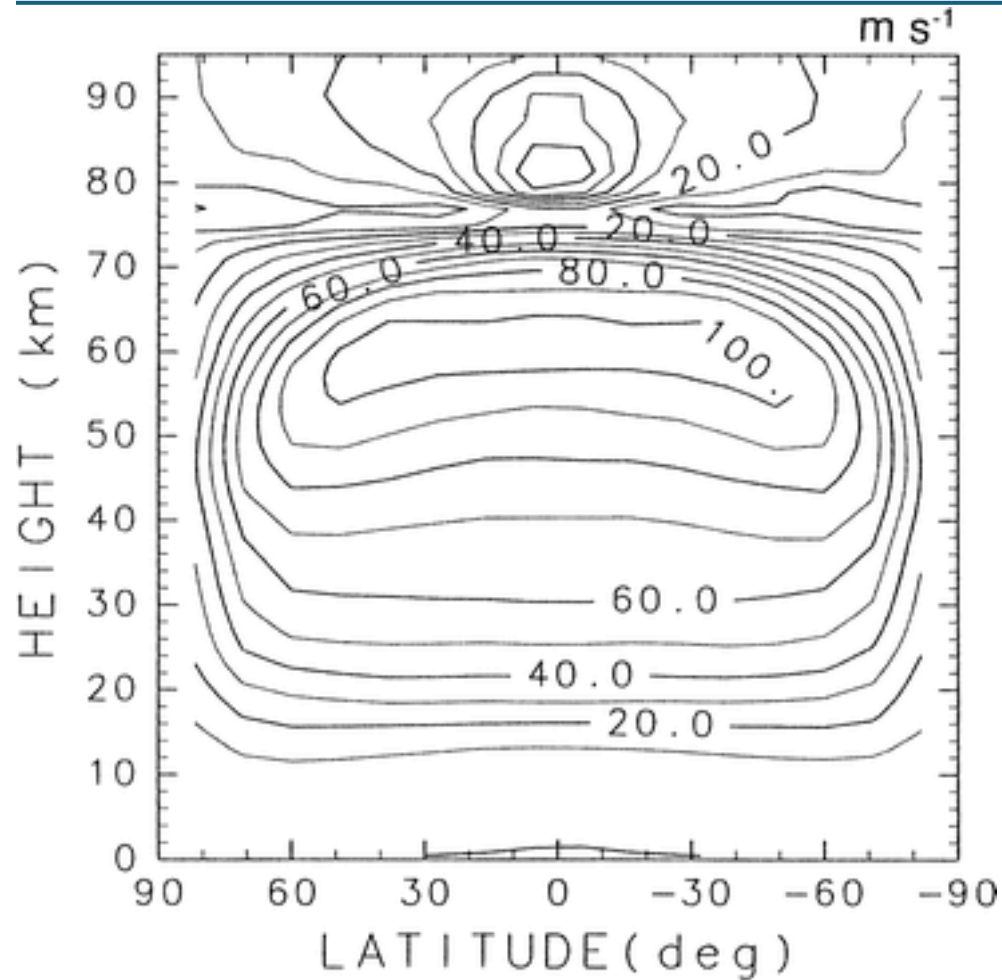
金星のスーパーローテーション



- 高度とともに東西風速が増加
- 高度 70 km 付近の大気は固体金星の約 60 倍の角速度で回転
- 低緯度から中緯度に速い東西風が広がる



Yamamoto and Takahashi (2003)



➤ 大気大循環モデル CCSR/NIES AGCM 5.4 を用いた実験

◆ 太陽放射

- 東西一様な加熱
- 加熱の強さは観測の約 40 倍

◆ 赤外放射

- ニュートン冷却
- 緩和先の温度場に低安定度層なし

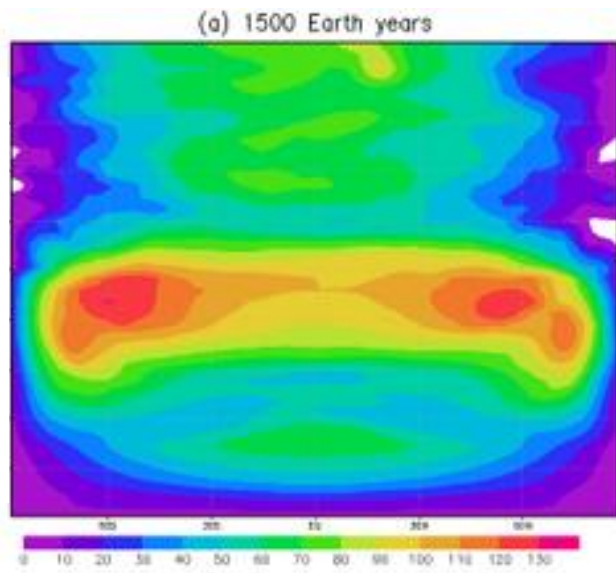
➤ 観測に似た東西風速を得た

- ◆ 100 m/s を超える東西風
- ◆ 高度とともに東西風速が増加
- ◆ 低緯度から中緯度で速度差が小さい

Sugimoto et al. (2019)

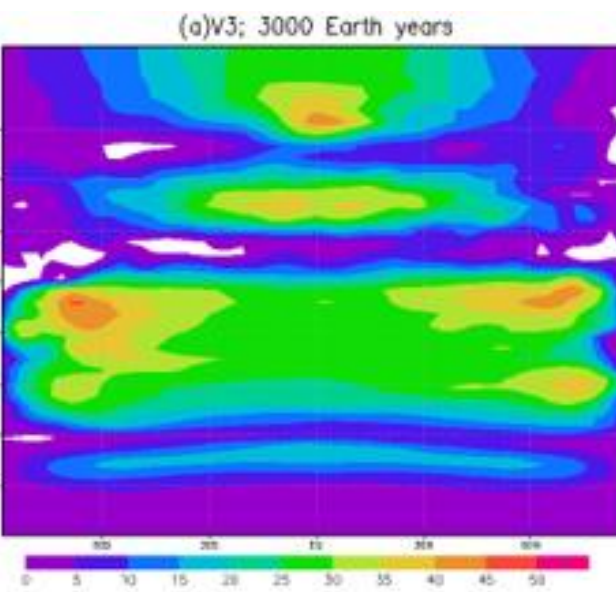
鉛直粘性係数
 $0.0015 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

sigma
1e-8
1e-7
1e-6
1e-5
1e-4
0.001
0.01
0.1



鉛直粘性係数
 $0.03 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

sigma
1e-8
1e-7
1e-6
1e-5
1e-4
0.001
0.01
0.1



➤金星大気大循環モデル AFES-Venus を用いた実験

◆太陽放射

- 東西一様な加熱
- 現実的な加熱の強さ

◆赤外放射

- ニュートン冷却
- 緩和先の温度場に低安定度層あり

◆鉛直粘性の強さを変更した実験

◆ 100 m/s を超える東西風を再現

◆鉛直粘性の強さで東西風速は大きく変化

本研究の目的

- YT03 の放射設定を用い, 鉛直粘性の強さを変更する
 - ◆Sugimoto et al. (2019) に似た東西風の鉛直粘性依存性は現れるか
 - ◆鉛直粘性の強さによって金星大気の大気大循環 (東西風・子午面循環) はどのように変化するのか?

実験設定

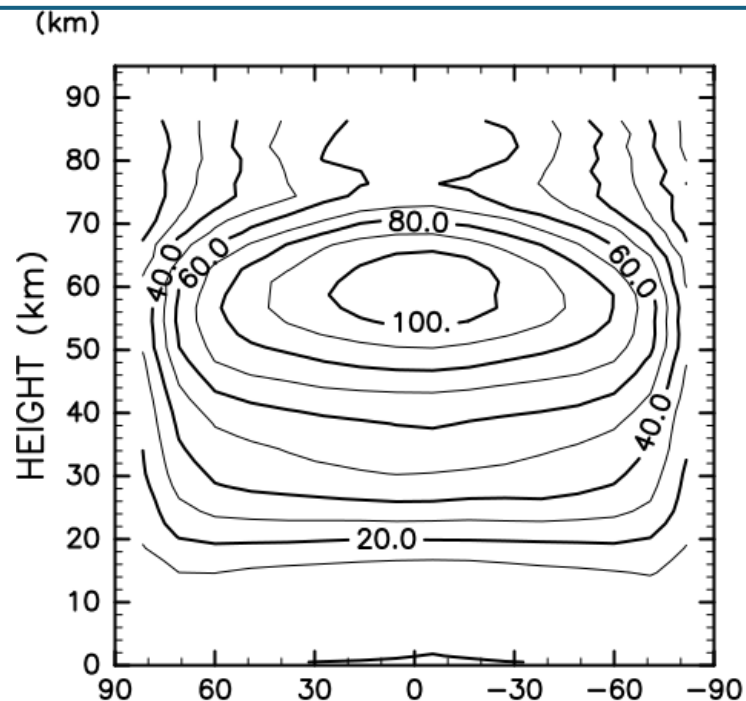
大気大循環モデル DCPAM

- ◆空間解像度: T10L50 (YT03)
- ◆時間解像度: 22.5 分
- ◆太陽放射: 東西一様 (YT03)
- ◆赤外放射: ニュートン冷却 (YT03)
- ◆地表摩擦: レイリー摩擦 (YT03)
- ◆水平粘性: 4 次の超粘性 (YT03)
- ◆鉛直粘性: 0.075, 0.15 (YT03),
0.3, 0.6, 1.2, 2.4, 9.6, 19.2 $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
- ◆積分期間: 420,000 日
- ◆解析期間: 410,000 – 420,000 日

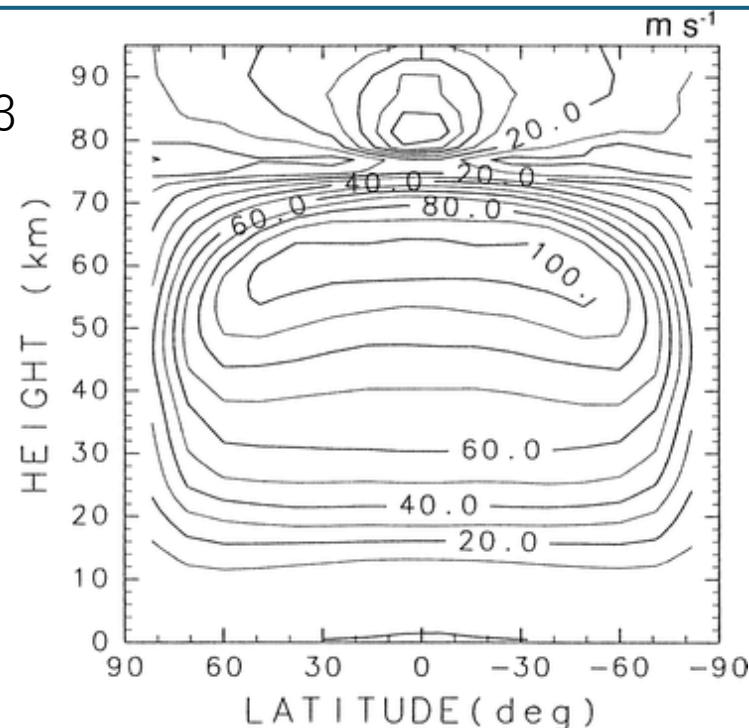
パラメタ	値
惑星半径	6,052.0 km
重力加速度	8.90 m s^{-2}
自転角速度	$-2.993 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
気体定数	$189 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
定圧比熱	$837 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
平均分子量	44 g mol^{-1}
地表気圧	$90 \times 10^5 \text{ Pa}$
スポンジ層の時定数	30 日 (最大)
水平粘性の時定数	40 日 (最大波数)
レイリー摩擦の時定数	30 日 (最下層のみ)

標準実験と YT03 の比較

標準実験

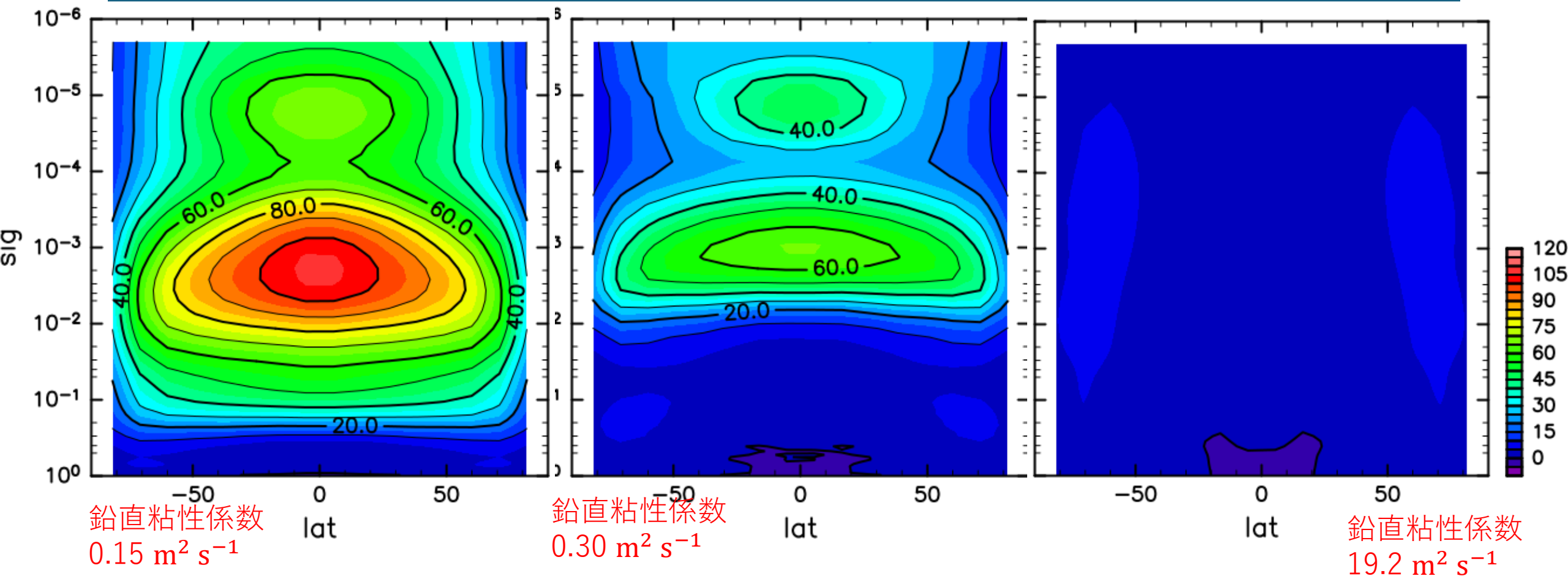


YT03



- 定性的には標準実験はYT03 を再現したが異なる点もある
 - ◆ 原因は特定できていない
- 大気の大部分の風速が正
- 地表から高度 60 km までは高度とともに風速が増加
- 最大東西風速は 100 m/s を超える
- 標準実験は YT03 に比べて高度 60 km の東西風の速い領域が低緯度に

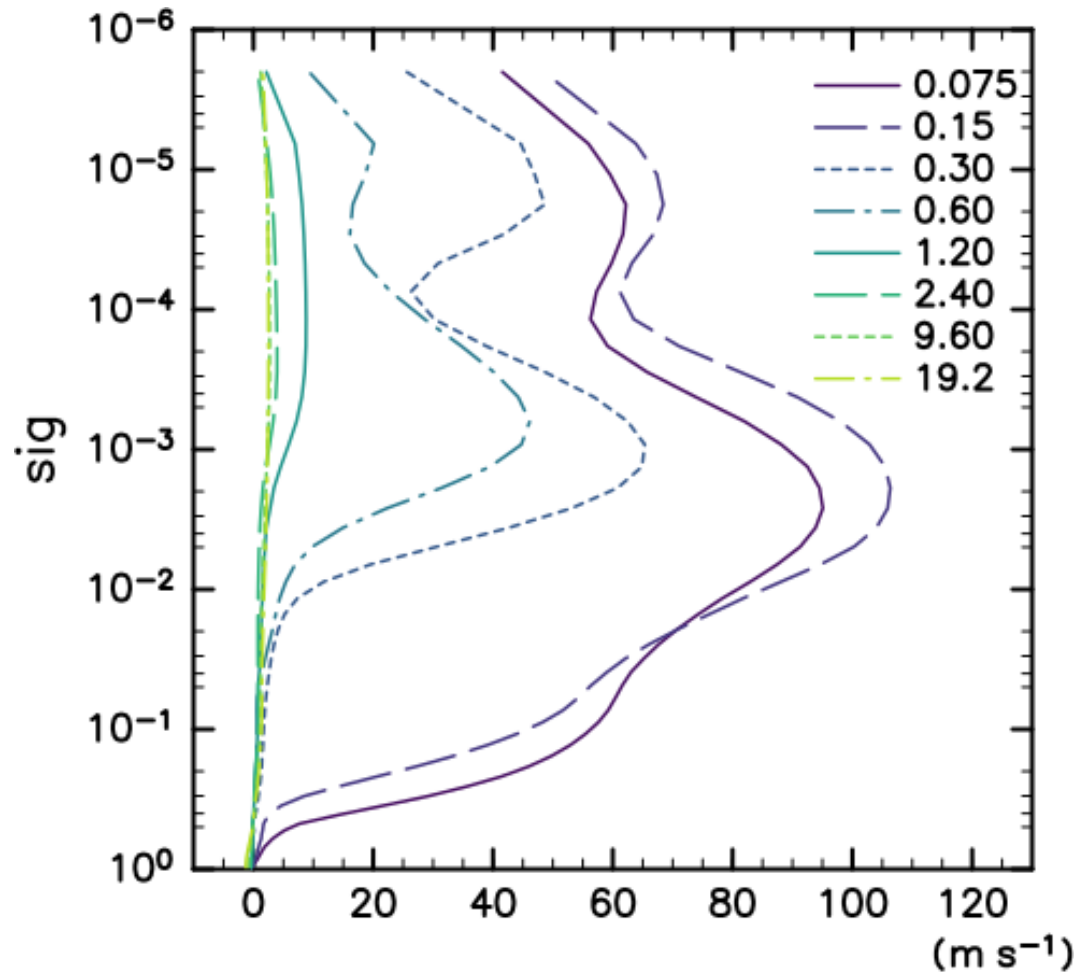
東西風速の子午面分布



➤鉛直粘性係数が大きい実験ほど、東西風速は大気全体で弱くなる。

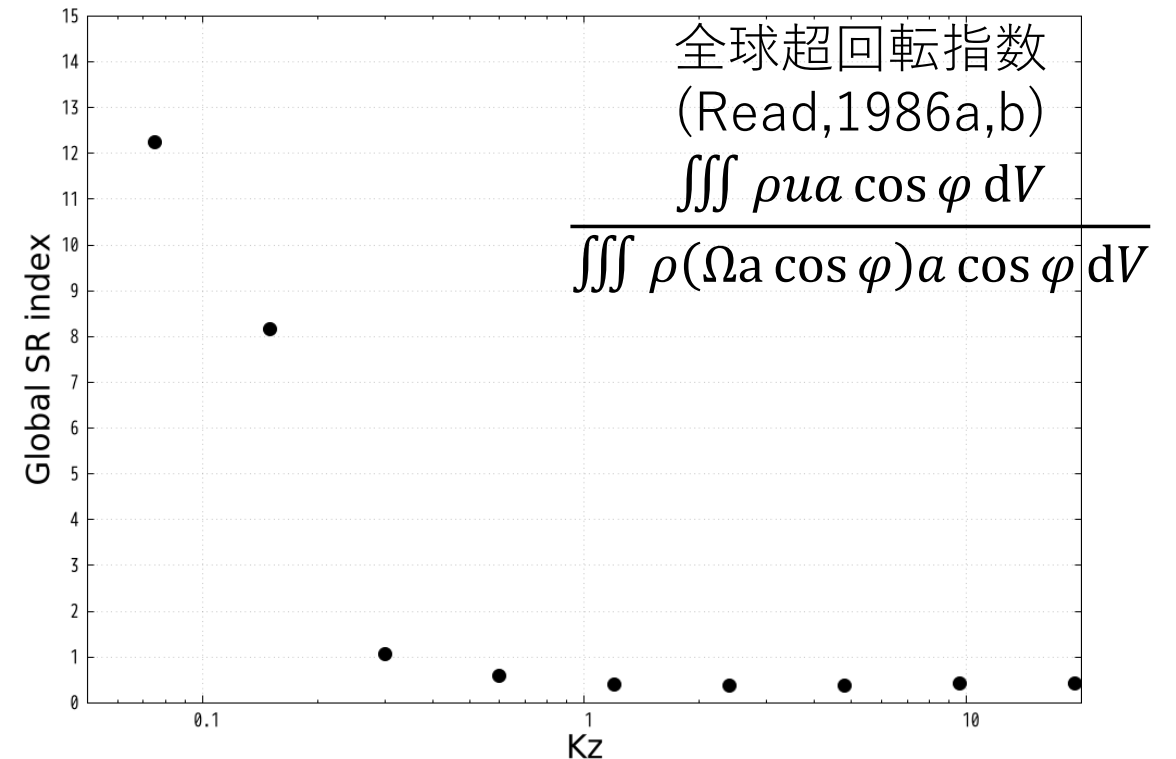
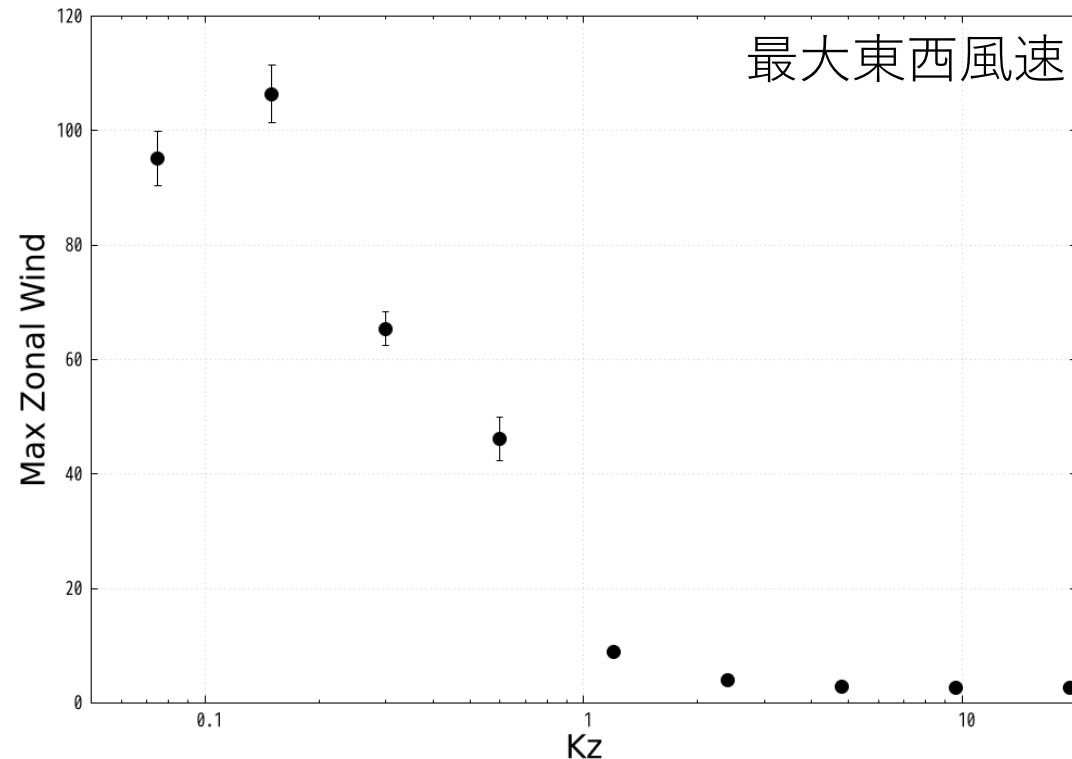
◆Sugimoto et al. (2019) と同様の傾向

東西風の鉛直構造



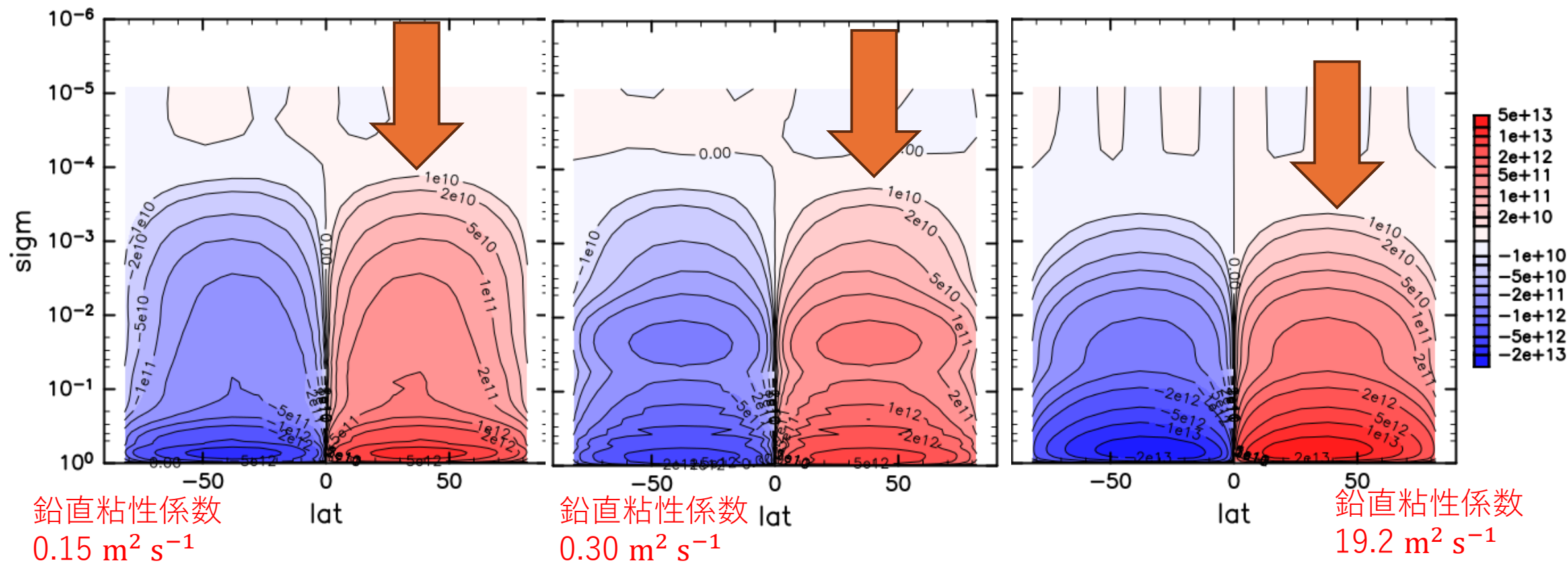
- 鉛直粘性係数が大きい実験ほど地表近くの風速が小さい領域が上空へ広がる
 - ◆ 地表の摩擦による遅い風速が、鉛直粘性によって上層へ輸送された可能性がある。

最大東西風速と全球超回転指数



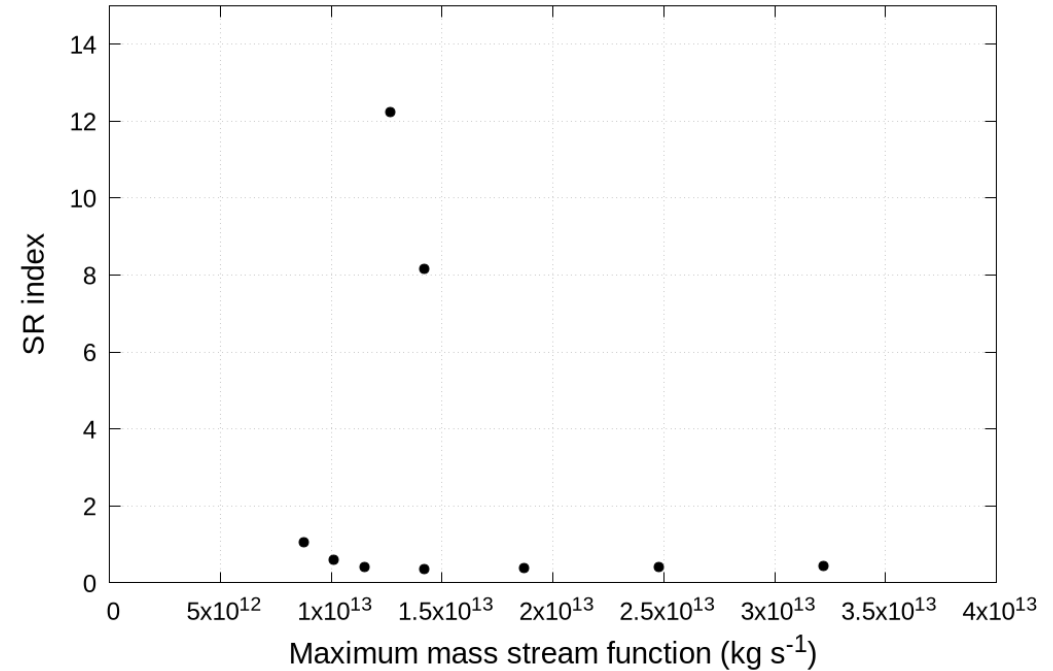
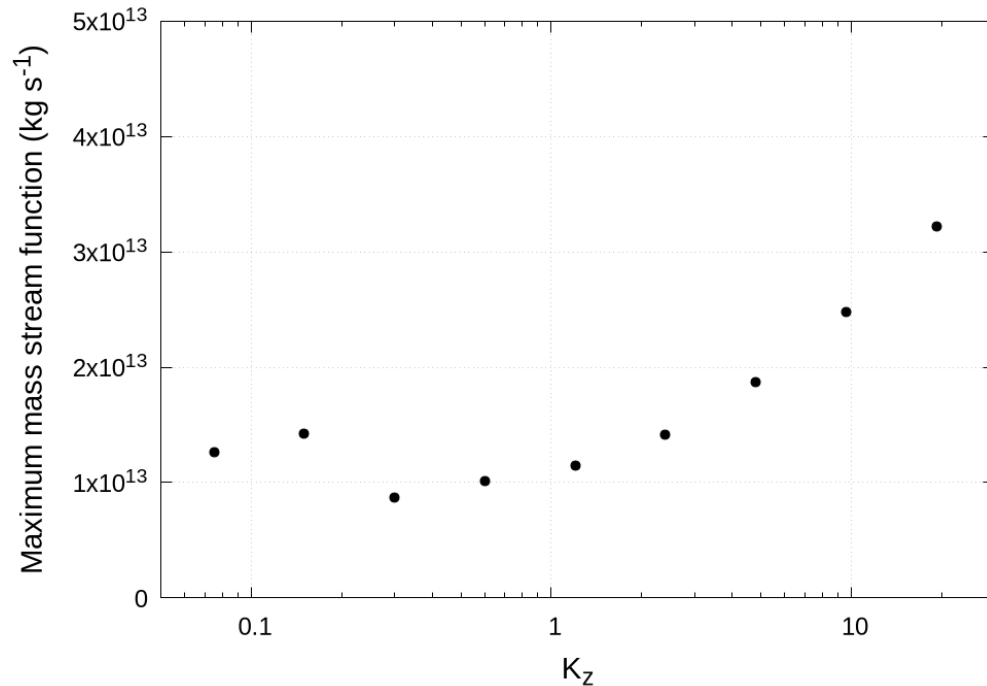
- 全体として, 鉛直粘性係数が大きい実験ほど最大東西風速は小さい
- 鉛直粘性係数が大きい実験ほど全球超回転指数が小さくなる

子午面循環



➤ 子午面循環が広がる高度は、鉛直粘性係数 $0.15 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ で高い。

子午面循環の強さと全球超回転指数



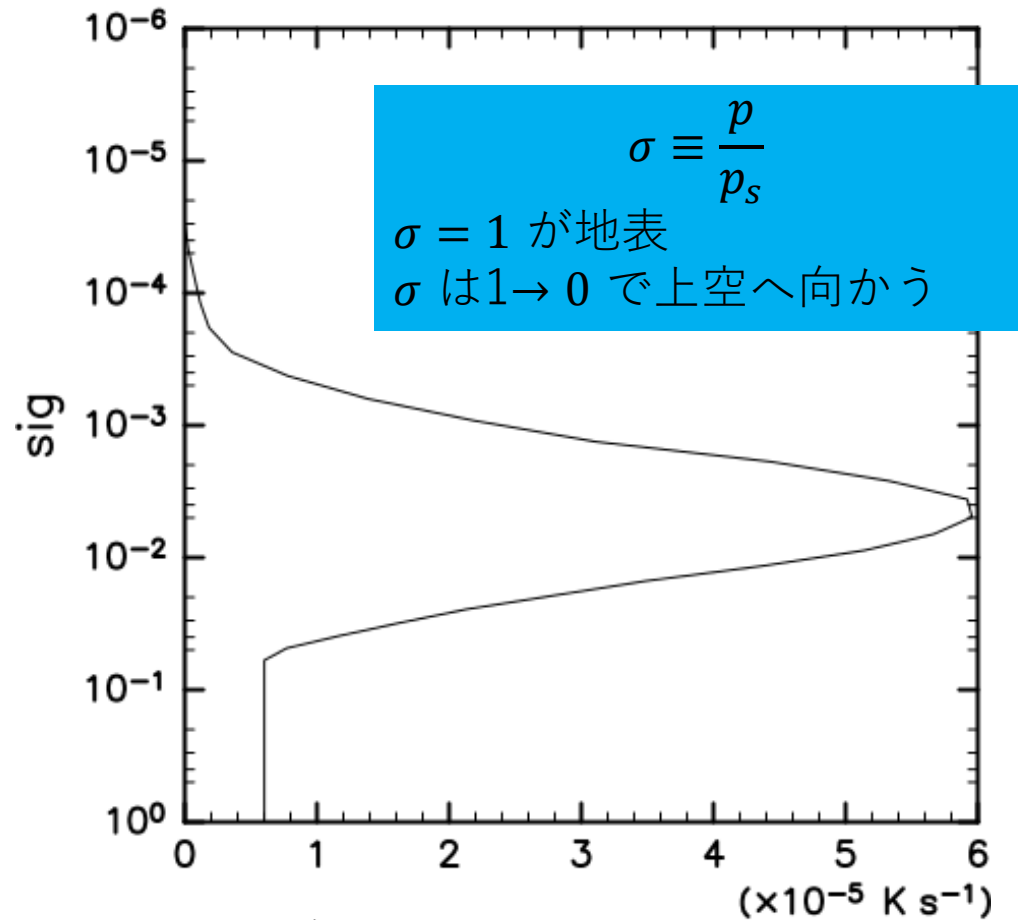
- 鉛直粘性係数 $0.30 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 以上で鉛直粘性係数が高い実験ほど、質量流線関数の最大値は増加
- 同程度の質量流線関数の最大値でも、全球超回転指数が大きい場合と小さい場合がある
 - ◆鉛直粘性がどのように働いたかは不明

まとめ

- 大気大循環モデル DCPAM を用いて, Yamamoto and Takahashi (2003) の設定で, 鉛直粘性の強さを変えて計算した
- YT03の設定でも Sugimoto et al. (2019) と同様に, 全体として鉛直粘性係数が高い実験ほど最大東西風速と全球超回転指数は小さかった.
- 鉛直粘性係数が高い実験ほど地表付近の遅い風速の領域が上層まで広がり, 鉛直輸送によって下層の影響が上層へ及んだ可能性がある.
- 子午面循環の強さは全球超回転指数と同じようには弱くならず, 両者には単純な対応がなかった.
 - ◆鉛直粘性がどのように働いたかは解析できてない

太陽放射加熱

(Yamamoto and Takahashi, 2003)



全球平均太陽放射加熱率の
鉛直分布 (Q_0)

➤緯度方向は $\cos^{7/5} \varphi$ に比例する.
(Yamamoto and Takahashi, 2006)

➤モデルの太陽放射加熱フラックス

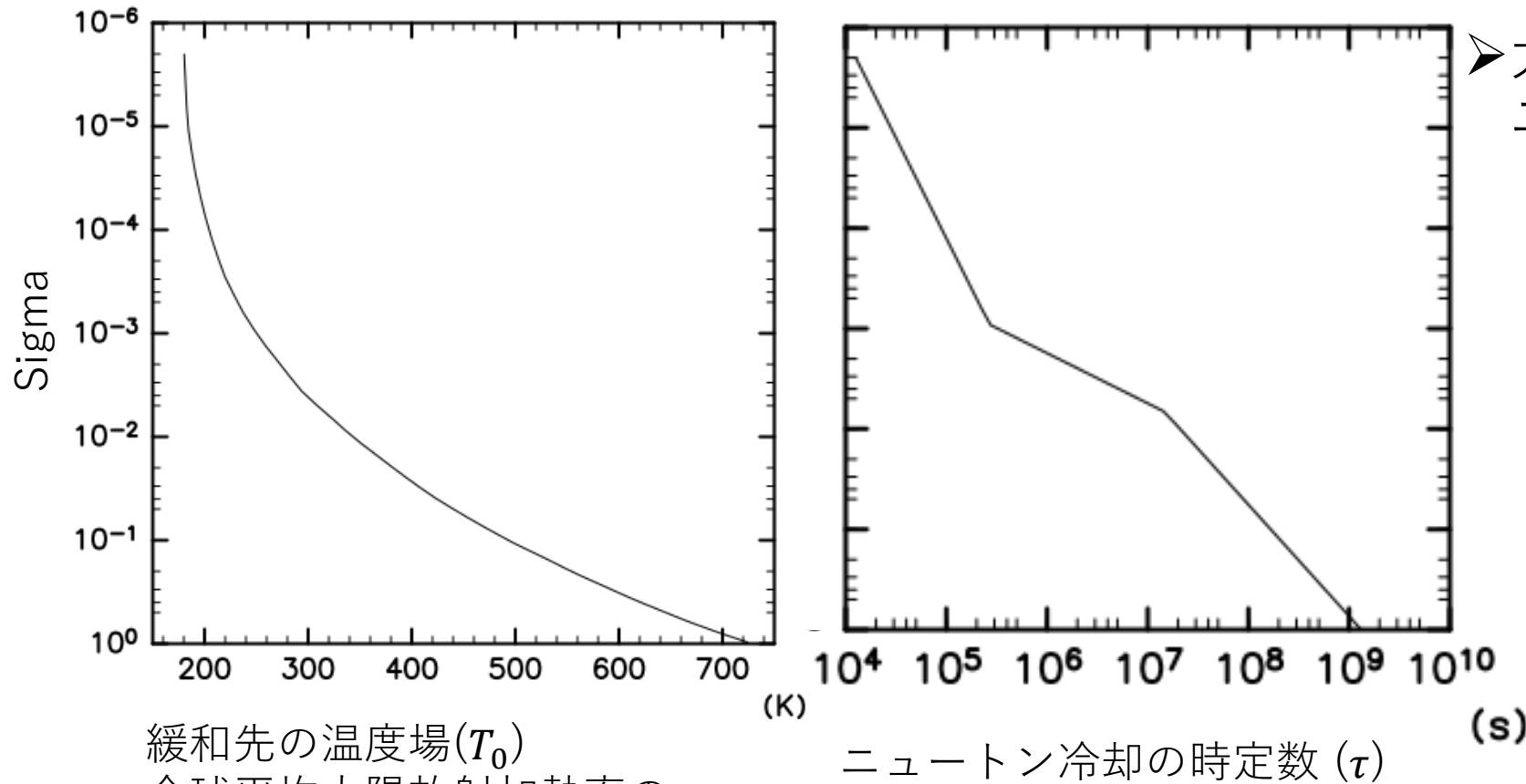
$$F = \int_0^\infty \rho c_p Q dz \approx 5900 \text{ W m}^{-2}$$

➤実際の金星の吸収する太陽加熱
フラックス 150 W m^{-2}

$$F = \frac{1 - A}{4} \times (\text{太陽定数})$$

赤外放射冷却

(Yamamoto and Takahashi, 2003)



➤ 大気密度を反映した
ニュートン冷却の時定数

ニュートン冷却

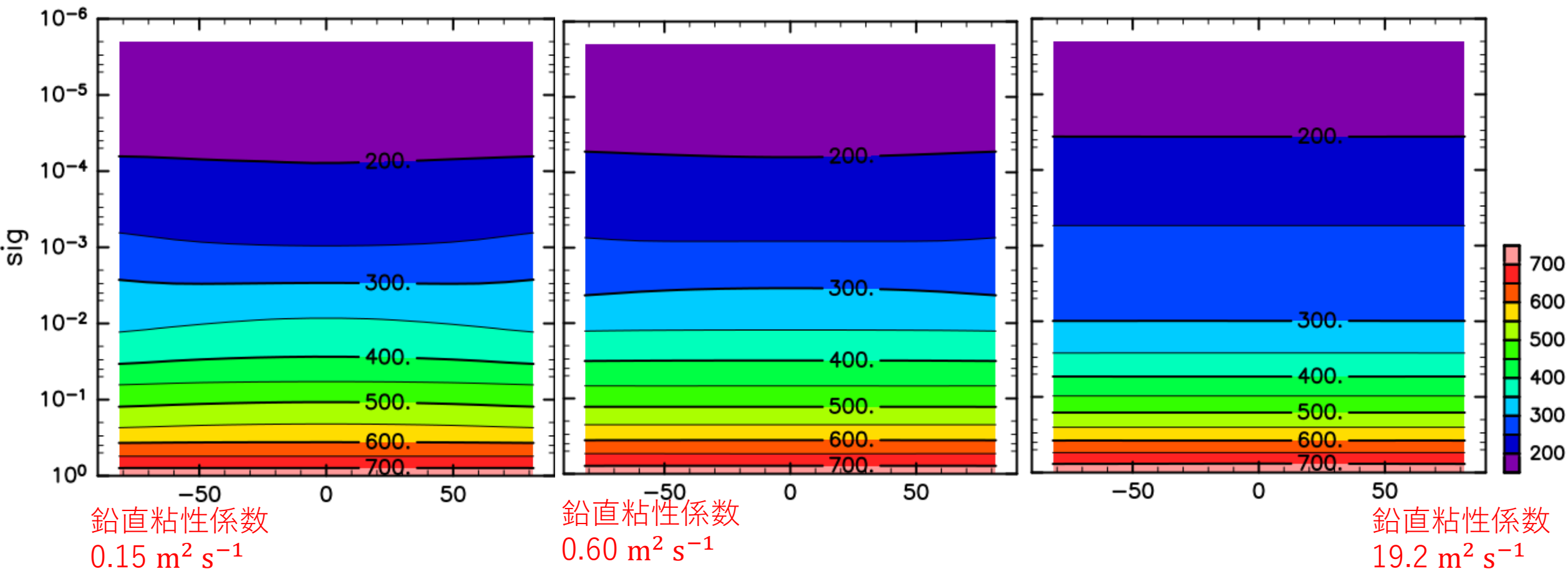
$$Q_{\text{IR}} = Q_0 + \frac{T - T_0}{\tau}$$

Q_0 : 全球平均

太陽放射加熱率

T_0 : 緩和先の温度場

温度の子午面分布



➤ 鉛直粘性係数が大きい実験ほど, 南北温度差は小さくなる.